

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE  
INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE  
PARIS

①1 N° de publication :  
(à n'utiliser que pour les  
commandes de reproduction)

2 829 867

②1 N° d'enregistrement national : 01 12123

⑤1 Int Cl<sup>7</sup> : G 11 C 11/15, H 01 L 43/10

⑫

## DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②2 Date de dépôt : 20.09.01.

③0 Priorité :

④3 Date de mise à la disposition du public de la  
demande : 21.03.03 Bulletin 03/12.

⑤6 Liste des documents cités dans le rapport de  
recherche préliminaire : *Se reporter à la fin du  
présent fascicule*

⑥0 Références à d'autres documents nationaux  
apparentés :

⑦1 Demandeur(s) : CENTRE NATIONAL DE LA  
RECHERCHE SCIENTIFIQUE CNRS Etablissement  
public à caractère scientifique et technologique — FR.

⑦2 Inventeur(s) : NOZIERES JEAN PIERRE, RANNO  
LAURENT et CONRAUX YANN.

⑦3 Titulaire(s) :

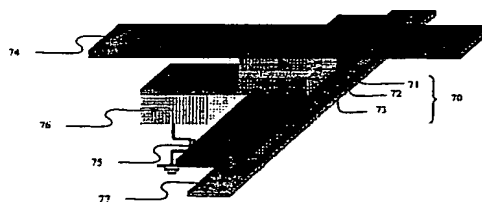
⑦4 Mandataire(s) : CABINET LAURENT ET CHARRAS.

⑤4 MEMOIRE MAGNETIQUE A SELECTION A L'ECRITURE PAR INHIBITION ET PROCEDE POUR SON  
ECRITURE.

⑤7 Cette mémoire magnétique, dont chaque point mé-  
moire est constitué d'une jonction tunnel magnétique (70),  
comprend :

- . une couche magnétique, dite couche piégée (71), dont  
l'aimantation est rigide;
- . une couche magnétique, dite couche libre (73), dont  
l'aimantation peut être inversée;
- . une couche isolante (72), interposée entre la couche li-  
bre (73) et la couche piégée (71) et au contact respectif de  
ces deux couches.

La couche libre (73) est réalisée en un alliage amorphe  
ou nanocristallisé à base de terre rare et d'un métal de tran-  
sition, l'ordre magnétique dudit alliage étant de type ferrima-  
gnétique, et en ce que la température de fonctionnement de  
la mémoire est choisie proche de la température de com-  
pensation dudit alliage.



FR 2 829 867 - A1



BEST AVAILABLE COPY

**MEMOIRE MAGNETIQUE A SELECTION A L'ECRITURE PAR  
INHIBITION ET PROCEDE POUR SON ECRITURE**

**Domaine technique**

5 La présente invention se rattache au domaine des mémoires magnétiques, et notamment des mémoires magnétiques à accès aléatoire non volatiles permettant le stockage et la lecture de données dans les systèmes électroniques. Plus précisément, elle concerne les mémoires à accès aléatoire magnétiques, appelées M-RAM, constituées d'une jonction tunnel magnétique.

10

**Etat Antérieur de la technique**

Les mémoires basées sur l'état de charge d'une capacité (DRAM, SRAM, FLASH) deviennent de plus en plus sensibles aux radiations ionisantes (telles que par exemple les rayons cosmiques) au fur et à mesure que la dimension des transistors élémentaires se réduit. Par ailleurs, les mémoires à base de ferroélectriques (FRAM) présentent de  
15 sérieux problèmes de vieillissement. Les développements récents dans le domaine de la magnéto-électronique ont permis de concevoir un nouveau type de mémoire, basé sur la magnétorésistance de jonctions magnétiques. En d'autres termes, leur principe de fonctionnement ne repose plus sur le stockage d'une charge électrique, mais sur  
20 l'orientation relative de l'aimantation des éléments qui la constituent. Ces mémoires magnétiques à accès aléatoire (Magnetic Random Access Memories - MRAM) présentent de nombreux atouts : rapidité (quelques nanosecondes de durée d'écriture et de lecture), non volatilité, absence de fatigue à la lecture et à l'écriture, insensibilité aux radiations ionisantes. Elles sont susceptibles dans un premier temps, de remplacer  
25 les mémoires flash et, à plus long terme, les DRAM et SRAM pour devenir une mémoire universelle.

Dans les premières mémoires magnétiques, le point mémoire était constitué d'un élément dit à magnétorésistance géante, formé d'un empilement de plusieurs couches  
30 métalliques alternativement magnétiques et non magnétiques. Une description détaillée de ce type de structures peut être trouvée dans les documents US-A-4 949 039 et US-A-5 159 513 pour les structures de base, et dans le document US-A-5 343 422 pour la réalisation d'une mémoire RAM à partir de ces structures de base. Ce type de mémoire, de part son architecture, permet la réalisation de mémoires non volatiles  
35 avec une technologie simple, mais de capacité limitée. En effet, le fait que les

éléments mémoire soient connectés en série le long de chaque ligne limite la possibilité d'intégration, puisque le signal est de plus en plus faible lorsque le nombre d'éléments augmente.

- 5 Les structures les plus prometteuses utilisent pour chaque point mémoire une jonction tunnel magnétique, appelée par la suite Magnetic Tunnel Junction - MTJ, et composées dans leur forme la plus simple, de deux couches magnétiques de coercitivités différentes, séparées par une mince couche isolante. Une description de ces structures est donnée dans la publication Physics Letters volume 54A (1975) page 225, ou plus  
10 récemment dans les publications Journal of Magnetism and Magnetic Materials volume 139 (1995) page L139 et Physical Review Letters volume 74 (1995) page 3273. L'utilisation de ces structures pour la fabrication de MRAM a été décrite initialement dans le document US-A-5 640 343.
- 15 L'architecture la plus prometteuse pour l'instant semble être celle décrite dans le document US-A-6 021 065 et dans la publication Journal of Applied Physics volume 81 (1997) page 3758, et dont le principe est représenté schématiquement sur la figure 1. Comme on peut le voir sur la figure 1, chaque élément ou point mémoire (10) est constitué de l'association d'un transistor CMOS (12) et d'une jonction MTJ (11). La  
20 dite jonction (11) comporte au moins une couche magnétique (20), dite couche libre, une fine couche isolante (21) et une couche magnétique (22), dite couche piégée. Préférentiellement mais de manière non limitative, les deux couches magnétiques sont réalisées à base des métaux 3d (Fe, Co, Ni) et leurs alliages, et la couche isolante est constituée d'alumine ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ). Préférentiellement, la couche magnétique (22) est  
25 couplée à une couche antiferromagnétique (23), dont la fonction est de piéger la couche (22), afin que son aimantation ne bascule pas lors de l'écriture. Préférentiellement aussi, la couche (22) peut être elle-même formée de plusieurs couches, ainsi que le décrit par exemple le document US-A-5 583 725 pour former une couche dite anitferromagnétique synthétique. Toutes ces variantes, ainsi que d'autres,  
30 sont bien connues de l'homme de métier.

L'architecture comporte en outre trois niveaux de lignes. Les deux niveaux de lignes (14) (word line) et (15) (bit line), généralement disposés à  $90^\circ$  l'un par rapport à

l'autre, sont destinés à acheminer des impulsions électriques propres à créer un champ magnétique permettant la commutation de l'aimantation de la couche (20) lors du processus d'écriture. Ces impulsions de champ sont produites en envoyant des impulsions de courant courtes (typiquement 2 à 5 nanosecondes) et d'intensité de l'ordre de 10 mA le long des lignes (14) et (15). L'intensité de ces impulsions et leur synchronisation sont ajustées de sorte que seule l'aimantation du point mémoire se trouvant à la croisée de ces deux lignes peut commuter. Un niveau de ligne additionnel (16) (control line) est destiné à commander l'ouverture ou la fermeture du canal des transistors (12) pour pouvoir adresser chaque élément mémoire individuellement. Les transistors (12) sont utilisés comme des interrupteurs.

En mode écriture, le transistor (12) sélectionné est en mode bloqué ou OFF, aucun courant ne le traverse. On envoie une impulsion de courant  $I$  dans les deux lignes (14) et (15) correspondant au point mémoire (10) sélectionné. L'amplitude de l'impulsion de courant  $I$  est telle que le champ magnétique crée ne soit pas suffisant pour faire basculer les points mémoire sur les lignes (14) ou (15), sauf à l'intersection des dites lignes (14) et (15), où la contribution conjointe des deux lignes est suffisante pour faire basculer l'aimantation de la couche (20) du point mémoire.

En mode lecture, le transistor (12) est en mode saturé ou ON par l'envoi d'une impulsion de courant positive dans sa base à travers la ligne de commande (16), le courant qui le traverse est maximum. Un courant de mesure est ensuite envoyé dans la ligne (14), qui ne peut traverser que le seul point mémoire dont le transistor (12) est en position ON. Par ce courant, on effectue une mesure de la résistance de la jonction (11) du point mémoire (10) sélectionné. Par comparaison avec un point mémoire référence qui n'est pas décrit ici, l'état correspondant du point mémoire (10) (1 ou 0) est ainsi déterminé.

En décrivant le mécanisme d'écriture de ces points mémoire, on comprend clairement les limites de cette architecture :

- L'écriture étant assurée par un champ magnétique extérieur, elle est assujettie à la valeur du champ de retournement individuel de chaque point mémoire. Si la fonction de distribution des champs de retournement pour l'ensemble des points

mémoire est large (en effet, elle n'est pas uniforme en raison des contraintes de construction), il est nécessaire que le champ magnétique sur le point mémoire sélectionné soit supérieur au champ de retournement le plus élevé de la distribution, au risque de renverser accidentellement certains points mémoire situés sur la ligne et ou la colonne correspondante, dont le champ de retournement, situé dans la partie basse de la distribution, est plus faible que le champ magnétique généré par la ligne ou la colonne seule. Inversement, si l'on souhaite s'assurer qu'aucun point mémoire ne soit écrit par une ligne ou une colonne seule, il faut limiter le courant d'écriture de façon à ne jamais dépasser pour ces points mémoire le champ magnétique correspondant à la partie basse de la distribution, au risque de ne pas écrire le point mémoire sélectionné à l'intersection desdites lignes et colonnes, si son champ de retournement est dans la partie haute de la distribution. En d'autres termes, cette architecture à sélection par champ magnétique à l'aide de lignes et de colonnes de conducteurs peut facilement conduire à des erreurs d'adressage à l'écriture. Compte tenu de ce qu'il est attendu que la fonction de distribution des champs de retournement des points mémoire soit d'autant plus large que leur dimension est faible, puisque c'est la géométrie des points mémoire (forme, irrégularités, défauts) qui domine le renversement de l'aimantation, cet effet ne pourra qu'empirer dans les générations de produits futures.

- En outre, ce mode d'écriture ne permet d'écrire qu'un seul point mémoire à la fois pour minimiser le risque d'erreur d'adressage.

L'objet de la présente invention consiste précisément à s'affranchir de ces limitations.

#### **Descriptif sommaire de l'invention**

L'invention vise une mémoire magnétique de type MTJ, qui minimise les erreurs d'adressage en inhibant à l'écriture les points mémoire qui ne doivent pas être écrits. Pour cela, elle propose de remplacer les couches ferromagnétiques usuelles (20, 22) du type de celles décrites en relation avec la figure 1 à base de métaux 3d (Fe, Co, Ni) et leurs alliages, par des alliages amorphes ferrimagnétiques (AAF).

Elle propose donc une mémoire magnétique, dont chaque point mémoire est constitué d'une jonction tunnel magnétique, comprenant :

- une couche magnétique, dite couche piégée, dont l'aimantation est rigide,
- une couche magnétique, dite couche libre, dont l'aimantation peut être inversée,
- 5 • une couche isolante, interposée entre la couche libre et la couche piégée et au contact respectif de ces deux couches.

Selon l'invention, la couche libre est réalisée en un alliage amorphe ou nanocristallisé à base de terre rare et d'un métal de transition, l'ordre magnétique dudit alliage étant  
10 de type ferrimagnétique, et la température de fonctionnement de la mémoire est choisie proche de la température de compensation dudit alliage.

La température de compensation est définie comme étant la température à laquelle les aimantations respectives du sous réseau des atomes de terres rares et du sous réseau de  
15 métaux de transition entrant dans la composition de l'AAF sont parfaitement compensées, c'est à dire qu'elles sont égales en amplitude et opposées en signe, donc l'aimantation macroscopique résultante est nulle.

Chacun des points mémoire est placé à l'intersection d'un réseau de conducteurs  
20 électriques, avantageusement des connecteurs croisés, et connecté à sa base à un transistor de sélection et sur la partie supérieure à l'un desdits connecteurs croisés.

Dans une première forme de l'invention, l'écriture est réalisée au niveau d'un point mémoire considéré par l'envoi simultané d'impulsions de courant électrique dans  
25 lesdits conducteurs croisés, afin de générer un champ magnétique d'écriture sur ledit point mémoire à écrire, et d'un courant de chauffage par le biais dudit transistor.

Selon une autre forme de réalisation de l'invention, l'écriture est réalisée en envoyant des impulsions de courant dans les conducteurs croisés correspondant audit point  
30 mémoire à écrire, et en chauffant les points mémoire que l'on souhaite éviter d'écrire (points mémoire à inhiber) par le biais des transistors correspondants, ledit courant de chauffage étant sélectionné de telle sorte que la température desdits points mémoire à

inhiber devienne supérieure à la température de compensation de l'alliage ferrimagnétique constitutif de la couche libre desdits points mémoire, lesdits points mémoire à inhiber présentant ainsi l'aimantation de leur couche libre orientée selon la même direction que celle de la couche libre du point mémoire à écrire.

5

La manière dont l'invention peut être réalisée, et les avantages qui en découlent ressortiront mieux des exemples de réalisation qui suivent, donnés à titre indicatif et non limitatif à l'appui des figures annexées

#### 10 Description sommaire des figures

La figure 1, déjà décrite, est une représentation schématique de l'architecture d'une mémoire magnétique de l'état antérieur de la technique, dont les points mémoire sont constitués par une MTJ.

La figure 2a est une représentation schématique de l'aimantation d'un AAF.

15 La figure 2b est une courbe représentant la variation de l'aimantation d'un AAF en fonction de la température.

La figure 3 est une représentation schématique d'une mémoire magnétique conforme à une première forme de réalisation de l'invention.

La figure 4 est une courbe représentative de la variation du champ magnétique de retournement de la couche libre d'AAF d'une MTJ de la mémoire de l'invention en  
20 fonction de la température.

Les figures 5a à 5d illustrent le mode de fonctionnement de la mémoire magnétique selon une autre forme de réalisation de l'invention.

Les figures 6a à 6c illustrent le mode de fonctionnement de l'inhibition d'un point  
25 mémoire correspondant à la configuration de la figure 5d.

#### Description détaillée de l'invention

Ainsi que brièvement rappelé ci-dessus, le fonctionnement de la mémoire conforme à l'invention repose sur la mise en œuvre d'une phase de chauffage de la couche libre  
30 d'AAF de la MTJ des points mémoire la constituant. La référence de cette élévation de température est constituée par la température dite de compensation. Il va donc être tout d'abord rapidement détaillé ce phénomène.

Ainsi qu'on peut l'observer sur la figure 2a, l'aimantation macroscopique (50) d'une couche (55) d'un AAF peut être décomposée en deux contributions, une contribution due au sous réseau des atomes de terre rare (51), et une contribution due au sous réseau des atomes de métal de transition (52). De façon schématique, l'aimantation macroscopique (50) résulte de la somme vectorielle des aimantations des deux sous réseaux (51) et (52).

Par ailleurs, les aimantations du sous réseau de terre rare (51) et du sous réseau du métal de transition (52) sont fortement couplées entre elles, résultant en un comportement conjoint lors du renversement de l'aimantation macroscopique (50) ou de la réorientation par une excitation sélective de l'un des sous réseaux (51) et (52).

En outre, lorsque la nature chimique et la composition relative de la terre rare et du métal de transition sont judicieusement choisies, l'ordre magnétique est de type ferrimagnétique, c'est à dire que l'aimantation du sous-réseau des atomes de terre rare (51) pointe dans une direction tandis que l'aimantation du sous réseau des atomes de métal de transition (52) pointe dans la direction opposée. Comme on peut le voir sur la figure 2a, si la valeur absolue des aimantations (51) et (52) des deux sous-réseaux n'est pas égale, le moment magnétique macroscopique (50) de l'ensemble de l'AAF est non nul.

Par ailleurs, comme on le voit sur la figure 2b, les variations en température des aimantations (51) du sous réseau de la terre rare, et (52) du métal de transition sont très différentes, conduisant à une variation avec la température de l'importance relative de contributions des deux sous réseaux à l'aimantation macroscopique résultante. En règle générale, l'aimantation du sous réseau de terre rare (51) décroît plus vite que l'aimantation du sous réseau de métal de transition (52). Lorsque la nature chimique et la composition relative de la terre rare et du métal de transition sont judicieusement choisies, pour que les aimantations (51) et (52) des deux sous-réseaux soient antiparallèles, il existe une température, appelée température de compensation (53), à laquelle ces deux aimantations sont parfaitement compensées, c'est à dire qu'elles sont égales en amplitude et opposées en signe, donc l'aimantation macroscopique (50) résultante est nulle. En dessous de la température de compensation, le sous réseau de



terre rare (51) domine et définit la direction de l'aimantation macroscopique (50). Au-dessus de la température de compensation, le sous réseau de métal de transition (52) domine et détermine la direction de l'aimantation macroscopique (50).

- 5 Par ailleurs, à la température de compensation (53), le champ coercitif diverge et tend vers l'infini (voir figure 4). De part et d'autre de la température de compensation, le champ coercitif décroît d'autant plus rapidement que la température est proche de la température de compensation (53).
- 10 Par ailleurs, les électrons contribuant à l'aimantation du sous réseau de métal de transition (52) sont principalement les électrons de conduction (électrons 3d), c'est à dire les électrons qui participent au transport du courant électrique. Par contre, les électrons responsables de l'aimantation du sous réseau de terre rare (51) sont les électrons des niveaux de cœur (électrons 4f), qui sont localisés et fortement écrantés
- 15 par les autres électrons du système.

Enfin, les propriétés intrinsèques de ces AAF (aimantation macroscopique, anisotropie magnétique, champ coercitif) peuvent être très facilement contrôlées par la nature chimique des éléments mis en jeu et leurs concentrations respectives. On peut

20 également pour cela rajouter des faibles quantités d'éléments de substitution, en général des métaux de transition, des métaux réfractaires ou des terres rares, par exemple mais de manière, non limitative du Ta, Mo, Nb, Zr, Pt, Dy, et Sm.

Parmi les AAF envisagés dans la présente invention, on trouve de manière

25 préférentielle mais non limitative l'alliage amorphe de Gadolinium (Gd) et de Cobalt (Co), qui associe un ordre ferrimagnétique, une faible anisotropie magnétocristalline, et lorsque la composition est judicieusement choisie, une température de compensation proche de la température de fonctionnement de la mémoire, par exemple  $Gd_{25}Co_{75}$ .

- 30 Comme on peut le voir sur la figure 3, le point mémoire d'une mémoire magnétique conforme à l'invention est formé d'une MTJ (70) de type AAF comportant une couche magnétique (71), dont l'aimantation est piégée, une couche isolante (72) réalisée en alumine, et une couche d'alliage AAF (73), dont on souhaite renverser l'aimantation

pour écrire le point mémoire (70). Deux lignes d'amenée de courant (74) et (75) se croisent à l'aplomb du point mémoire. La ligne de conducteur supérieure (74) est au contact de la MTJ (70). La ligne de conducteur inférieure (75) est isolée électriquement de ladite MTJ. Un transistor de commande (76) et sa ligne de commande (77) sont placés sous et au contact du point mémoire (70). Tout cela est  
5 similaire à l'état antérieur de la technique, hormis la nature chimique des couches (71) et (73).

Avantageusement une couche de forte coercitivité, par exemple un alliage à base de  
10 Co, ou une couche antiferromagnétique, par exemple un alliage ordonné PtMn (non représentée) peut être placée sur la couche (71) pour bloquer son aimantation.

Avantageusement la couche magnétique (71) peut être formée d'un alliage AAF, identique ou différent de la couche (73), dont le champ de retournement est grand, par  
15 exemple un alliage à base de Samarium et de Cobalt ou encore en un alliage amorphe à base de Terbium et de Cobalt.

Un point mémoire conforme à l'invention fonctionne de la façon suivante, illustré en relation avec la figure 4 :  
20

La température de fonctionnement (56) de la mémoire est choisie proche de la température de compensation (53) de la couche (73), de façon à garantir des champs de retournement des points mémoire importants, puisque celui-ci diverge à la température de compensation (53). Avantageusement, la température de compensation de la couche  
25 (73) est légèrement inférieure à la température de fonctionnement de la mémoire.

A l'écriture, par une impulsion dans la ligne (77), on ouvre le transistor de commande (76) correspondant au point mémoire (70) sélectionné. Le courant qui passe dans le point mémoire est choisi suffisant pour échauffer ce dernier à une température (57)  
30 très supérieure à la température de compensation (53), l'échauffement étant facilité par la résistivité importante des alliages AAF utilisés dans la couche (73). A cet échauffement du point mémoire (70), est associé une chute brutale du champ de retournement de la couche (73) puisque celui-ci varie très vite au voisinage de la température de compensation. On envoie alors une impulsion de courant dans les

conducteurs d'excitation (74) et (75), avec un signe tel qu'elle permette le renversement de l'aimantation de la couche (73). Une fois que l'aimantation de la couche (73) a été retournée par l'impulsion de courant dans les lignes (74) et (75), le courant de chauffage dans la ligne (77) est coupé, ce qui ramène la température du point mémoire (70) en dessous de la température de compensation (53) et les impulsions de courant dans les conducteurs (74) et (75) sont supprimées. Le point mémoire est écrit.

A la lecture, le procédé est identique à celui décrit dans l'état antérieur de la technique, à savoir une lecture de la résistance du point mémoire par un courant de faible amplitude dans la ligne (77), laquelle résistance est comparée à celle d'une cellule de référence qui n'est pas décrite sur la figure 3.

On conçoit l'intérêt de cette architecture en considérant que le champ de retournement varie énormément avec la température au voisinage de la température de compensation (53). En conséquence, il est possible d'abaisser le champ de retournement du point mémoire sélectionné à des valeurs très inférieures à celles des autres points mémoire du réseau. En particulier le champ de retournement du point mémoire sélectionné peut être obtenu inférieur à la borne inférieure de la distribution de champs de retournement de l'ensemble de la mémoire. L'amplitude de l'impulsion de courant est donc suffisante pour renverser l'aimantation du point mémoire, mais pas pour renverser l'aimantation des points mémoire non sélectionnés, dont la température reste proche de la température de fonctionnement, et ce, quelle que soit la valeur du champ de retournement dans la distribution dudit champ de retournement de l'ensemble des points mémoire du réseau. On augmente ainsi fortement la sélectivité à l'écriture, ce qui a pour effet d'éliminer les erreurs d'adressage observées dans l'état antérieur de la technique.

L'utilisation d'un chauffage pour favoriser la sélection d'un point mémoire est également possible avec des MTJ à base d'alliage de métaux 3d, comme dans l'état de l'art, mais la variation beaucoup plus lente du champ de retournement avec la température dans ces alliages oblige à chauffer à des températures beaucoup plus élevées, résultant en une puissance consommée et une durée de lecture plus grands.

Avantageusement, le courant de chauffage peut être obtenu par un élément chauffant extérieur non représenté sur la figure 3.

Avantageusement, cette technique d'adressage permet l'écriture simultanée de  
5 plusieurs points mémoire, en sélectionnant le chauffage simultané de plusieurs points mémoire. Cette approche permet d'augmenter la vitesse d'écriture globale de la mémoire.

Dans une variante améliorée de l'invention, la sélection à l'adressage est obtenue en  
10 inhibant les points mémoire que l'on ne souhaite pas écrire par un chauffage identique à celui utilisé pour le point sélectionné dans la forme de réalisation décrite précédemment. Dans ce cas comme on peut le voir sur la figure 5a, on sélectionne la nature chimique et la composition de la couche (73), de telle sorte qu'à la température de fonctionnement au repos de la mémoire, le moment magnétique du sous réseau des  
15 atomes de terre rare (81) soit supérieur au moment magnétique du sous réseau des atomes de métal de transition (82). En conséquence l'aimantation macroscopique (80) de la couche (73) pointe dans la même direction que l'aimantation du sous réseau (81). Par ailleurs, la température de fonctionnement au repos de la mémoire est choisie inférieure à la température de compensation (53) de la couche (73). Le processus  
20 d'écriture est alors le suivant :

On envoie par le biais des conducteurs (74) et (75) un courant d'amplitude telle, que le champ magnétique (88) créé à l'intersection desdits conducteurs correspondant au point mémoire à écrire possède un signe opposé à l'aimantation au repos du point  
25 mémoire (90) à écrire, dont seule la couche (73) à renverser est représentée sur la figure 5b. L'amplitude du champ magnétique d'écriture (88) ainsi créé est très supérieure au champ de retournement du point mémoire (90) sélectionné pour s'assurer de son écriture sans erreur quelle que soit la distribution de champ de retournement du réseau de points mémoires.

30

Simultanément, les autres points mémoire que l'on ne souhaite pas écrire sont inhibés selon la procédure suivante : Si le point mémoire (91), constituant l'un des points mémoire à inhiber, dont seule la couche (73) est représentée sur la figure 5c, possède une aimantation macroscopique (80) de sens opposé à l'aimantation du point mémoire

(90) à écrire, le champ magnétique (88) est nécessairement de même sens que l'aimantation (80) dudit point mémoire (91), c'est donc un champ stabilisant. En conséquence l'état du point mémoire (91) n'est pas affecté, quelle que soit l'amplitude du champ magnétique (88) appliqué.

5

Si le point mémoire (92), constituant également l'un des points mémoire à inhiber, dont seule la couche (73) est représentée sur la figure 5d, possède une aimantation macroscopique (80) de même sens que le point mémoire (90) à écrire, le champ magnétique (88) est opposé à l'aimantation (80) au repos, il y a donc risque d'écriture  
10 erronée. On inhibe alors l'écriture du point mémoire (92) par la procédure suivante : Comme on peut le voir sur la figure 6a, où seule la couche (73) du point mémoire (92) est représentée, à partir de la température au repos (100) du point mémoire (92), au dessous de la température de compensation (83), en commandant, avant l'envoi d'impulsions de courant dans les lignes (74) et (75), l'ouverture du transistor (76)  
15 correspondant au point mémoire (92) par l'envoi d'une impulsion de courant dans la ligne (77) correspondante, on chauffe le point mémoire (92) à une température (101) au-dessus de la température de compensation (83) de la couche (73) correspondante. En raison des propriétés spécifiques des alliages AAF, le passage au-dessus de la température de compensation (83) a pour effet de renverser l'aimantation  
20 macroscopique (80) du point mémoire (92), puisque les contributions relatives de l'aimantation du sous réseau des atomes de terre rare (81) et de l'aimantation du sous réseau des atomes de métal de transition (82) s'inversent. Par cette procédure de chauffage, l'aimantation macroscopique (80) du point mémoire (92) à inhiber est maintenant de sens opposé à ce qu'elle était avant le chauffage, et le champ magnétique  
25 d'écriture (88) généré par les conducteurs (74) et (75) est maintenant un champ stabilisant : l'aimantation du point mémoire n'est pas renversée. Lorsque l'écriture du point mémoire (90) sélectionné est terminée, on stoppe d'abord le champ d'écriture (88) en coupant le courant dans les conducteurs (74) et (75), puis on coupe le chauffage du point mémoire (92) à inhiber. La couche (73) correspondante se refroidit au-dessous de  
30 sa température de compensation et retrouve son état d'aimantation initiale à la température (102) en dessous de la température de compensation (83), comme on peut le voir sur la figure 6c, dans laquelle seule la couche (73) a été représentée. Ainsi par cette procédure, l'écriture du point mémoire (92) est inhibée bien que le sens et l'amplitude du champ d'écriture (88) aient correspondu à un champ d'écriture.

L'intérêt de cette technique d'inhibition est d'éliminer toutes les erreurs d'adressage potentielles, puisque le champ d'écriture est un champ stabilisant sur tous les points mémoire, quel que soit leur état d'aimantation au repos, sauf sur le point mémoire sélectionné pour lequel il peut donc être très supérieur au champ de retournement moyen. Les erreurs d'adressage sont donc impossibles.

Avantageusement, cette technique d'adressage par inhibition permet également d'écrire plusieurs points mémoire simultanément, puisque la sélection est réalisée par l'inhibition des autres points mémoire. Le processus d'écriture peut avantageusement être réduit à deux étapes : l'écriture simultanée de l'ensemble des points mémoire dans une direction donnée, en saturant tous les conducteurs correspondants et en inhibant les points mémoire de la direction opposée, et l'écriture simultanée de l'ensemble des points mémoire dans l'autre direction en inversant les sélections d'écriture (ainsi que le signe du courant d'écriture) et de chauffage. Par cette approche on maximalise la vitesse d'écriture globale de la mémoire.

Avantageusement, le courant de chauffage peut être obtenu par un élément chauffant extérieur non représenté sur la figure 3.

Avantageusement, la structure de la mémoire n'utilise qu'un seul conducteur d'excitation puisque l'amplitude du champ d'écriture (88) n'étant plus le critère de sélection du point mémoire à écrire, il n'est plus nécessaire d'utiliser deux conducteurs croisés pour sélectionner le point mémoire à écrire à leur intersection seulement. Dans ce cas, la mémoire est formée d'un conducteur unique (supérieur) d'excitation de champ (74), et d'un conducteur de commande des transistors (inférieur) de chauffage (77). Cette architecture permet de supprimer la ligne d'excitation inférieure (75), ce qui permet de minimiser la dimension de la cellule élémentaire, puisqu'il n'y a plus à décaler la ligne de transistor de commande (77) par rapport au point mémoire (70) pour permettre le passage de la ligne de courant inférieure (75). Les possibilités d'intégration s'en trouvent de fait accrues et les procédés de fabrication sont simplifiés.

## REVENDEICATIONS

1. Mémoire magnétique, dont chaque point mémoire est constitué d'une jonction tunnel magnétique (70), comprenant :
  - 5       • une couche magnétique, dite couche piégée (71), dont l'aimantation est rigide ;
  - une couche magnétique, dite couche libre (73), dont l'aimantation peut être inversée ;
  - 10       • une couche isolante (72), interposée entre la couche libre (73) et la couche piégée (71) et au contact respectif de ces deux couches ,  
*caractérisée* en ce que la couche libre (73) est réalisée en un alliage amorphe ou nanocristallisé à base de terre rare et d'un métal de transition, l'ordre magnétique dudit alliage étant de type ferrimagnétique, et en ce que la température de fonctionnement de la mémoire est choisie proche de la
  - 15       température de compensation dudit alliage.
2. Mémoire magnétique selon la revendication 1, *caractérisée* en ce que la couche libre (73) est réalisée à base d'un alliage de Gadolinium et de Cobalt.
- 20 3. Mémoire magnétique selon l'une des revendications 1 et 2, *caractérisée* en ce que la couche libre (73) intègre en outre en faible quantité un ou plusieurs éléments de substitution.
4. Mémoire magnétique selon la revendication 3, *caractérisée* en ce que les  
25       éléments de substitution sont choisis dans le groupe comprenant par exemple le Zr, Ta, Mo, Nb, Dy, Sm, Pt.
5. Mémoire magnétique selon l'une des revendications 1 à 4, *caractérisée* en ce que la couche piégée (71) est réalisée en un alliage amorphe à base de terre rare  
30       et d'un métal de transition, identique ou différent de celui constitutif de la couche libre (73), l'ordre magnétique dans ledit alliage étant de type ferrimagnétique.

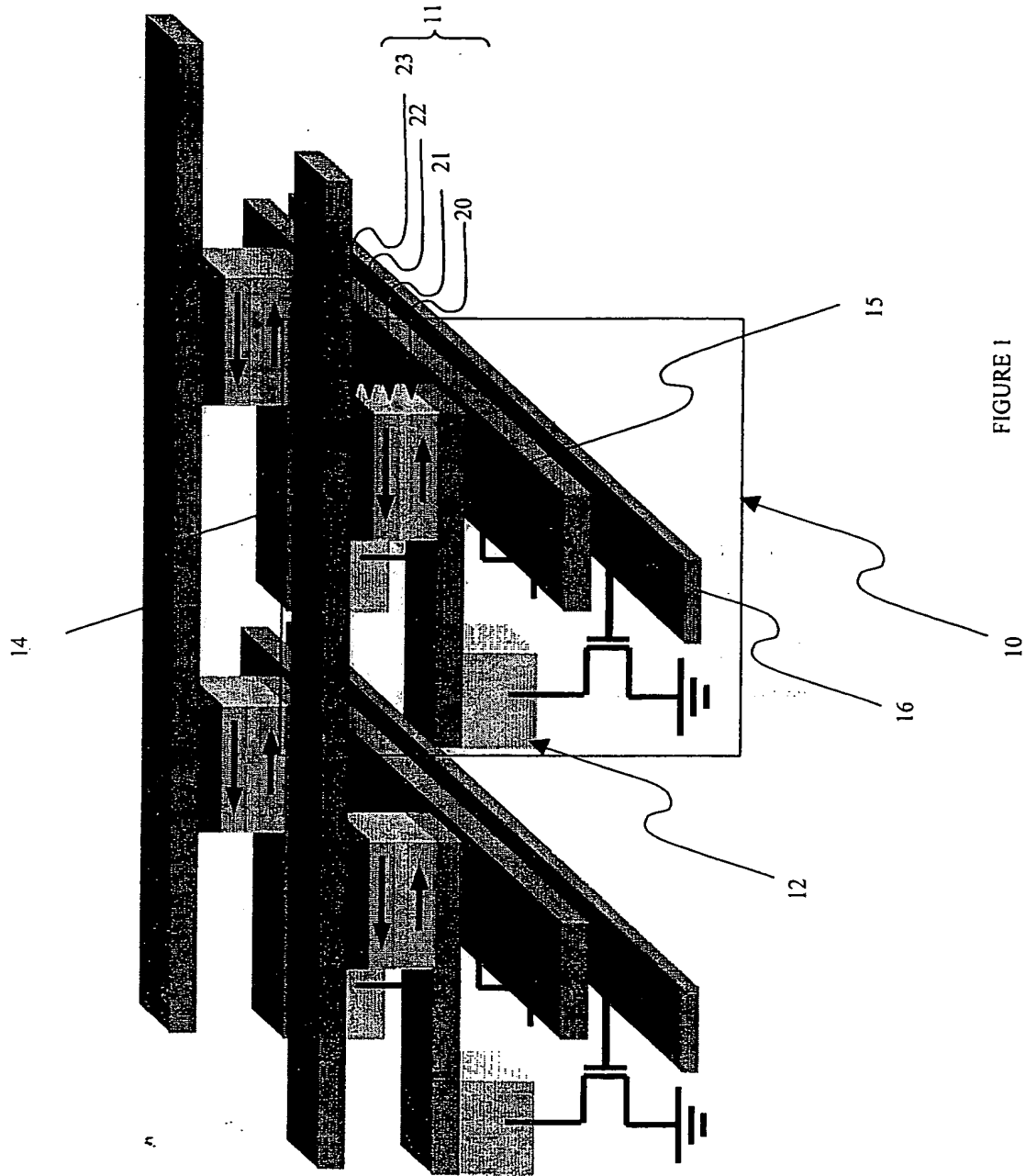
6. Mémoire magnétique selon la revendication 5, *caractérisée* en ce que la couche piégée (71) est réalisée en un alliage amorphe à base de Terbium et de Cobalt.
7. Mémoire magnétique selon l'une des revendications 1 à 4, *caractérisée* en ce que la couche piégée (71) est réalisée en un alliage amorphe à base de terre rare et d'un métal de transition, l'ordre magnétique dans ledit alliage étant de type ferromagnétique ,
8. Mémoire magnétique selon la revendication 7, *caractérisée* en ce que la couche piégée (71) est réalisée en un alliage de samarium et de cobalt.
9. Mémoire magnétique selon l'une des revendications 1 à 8, *caractérisée* en ce que chacun de ses points mémoire est placé à l'intersection d'un réseau de conducteurs électriques (74, 75), ledit conducteur inférieur (75) étant isolé électriquement desdits points mémoire, chacun desdits points mémoire étant connecté à sa base à un transistor de sélection (76), l'écriture étant réalisée au niveau d'un point mémoire considéré par l'envoi simultané d'impulsions de courant électrique dans lesdits conducteurs (74, 75) et d'un courant de chauffage par le biais dudit transistor (76).
10. Mémoire magnétique selon l'une des revendications 1 à 9, *caractérisée* en ce que la température du point mémoire lors de l'écriture est portée à une valeur supérieure à la température de compensation (53) de la couche libre (73) qui le constitue.
11. Mémoire magnétique à accès aléatoire conforme à l'une quelconque des revendications 1 à 10.
12. Procédé pour écrire dans une mémoire magnétique dont chaque point mémoire est constitué d'une jonction tunnel magnétique (70), comprenant :
  - une couche magnétique, dite couche piégée (71), dont l'aimantation est rigide ;



- une couche magnétique, dite couche libre (73), dont l'aimantation peut être inversée ;
  - une couche isolante (72), interposée entre la couche libre (73) et la couche piégée (71) et au contact respectif de ces deux couches
- 5 chacun des points mémoire étant placé à l'intersection d'un réseau de conducteurs électriques (74, 75), ledit conducteur inférieur (75) étant isolé électriquement desdits points mémoire, chacun desdits points mémoire étant connecté à sa base à un transistor de sélection (76),
- caractérisé en ce qu'il consiste :*
- 10 • à réaliser la couche libre (73) en un alliage amorphe ou nanocristallisé à base de terre rare et d'un métal de transition, l'ordre magnétique dudit alliage étant de type ferrimagnétique, et la température de fonctionnement de la mémoire est choisie proche de la température de compensation dudit alliage ;
  - 15 • à envoyer simultanément au niveau du point mémoire à écrire des impulsions de courant électrique dans lesdits conducteurs (74, 75) correspondants et un courant de chauffage par le biais dudit transistor (76) considéré.
- 13.** Procédé pour écrire dans une mémoire magnétique dont chaque point mémoire
- 20 est constitué d'une jonction tunnel magnétique (70), comprenant :
- une couche magnétique, dite couche piégée (71), dont l'aimantation est rigide ;
  - une couche magnétique, dite couche libre (73), dont l'aimantation peut être inversée ;
  - 25 • une couche isolante, interposée entre la couche libre (73) et la couche piégée (71) et au contact respectif de ces deux couches,
- chacun des points mémoire étant placé à l'intersection d'un réseau de conducteurs électriques (74, 75), ledit conducteur inférieur (75) étant isolé électriquement desdits points mémoire, chacun d'entre eux étant connecté à sa
- 30 base à un transistor de sélection (76),
- caractérisé en ce qu'il consiste :*

- à réaliser la couche libre (73) en un alliage amorphe ou nanocristallisé à base de terre rare et d'un métal de transition, l'ordre magnétique dudit alliage étant de type ferrimagnétique, et la température de fonctionnement de la mémoire est choisie inférieure à la température de compensation dudit alliage ;
  - à envoyer simultanément au niveau du point mémoire à écrire des impulsions de courant électrique dans lesdits conducteurs (74, 75) correspondants et, au niveau des points mémoire à inhiber, lesdits points mémoire à inhiber présentant l'aimantation de leur couche libre orientée selon la même direction que celle de la couche libre du point mémoire à écrire, un courant de chauffage par l'ouverture des transistors (76) correspondant connectés aux points mémoire à inhiber, ledit courant de chauffage étant sélectionné de telle sorte que la température desdits points mémoire à inhiber devienne supérieure à la température de compensation de l'alliage ferrimagnétique constitutif de la couche libre (73) desdits points mémoire.
14. Procédé pour écrire dans une mémoire magnétique selon la revendication 13, *caractérisé* en ce qu'un champ magnétique appliqué sur le point mémoire à écrire par les impulsions de courant électrique transitant par le biais des conducteurs électriques (74, 75) ait une amplitude très nettement supérieur au champ magnétique individuel de retournement de l'aimantation de la couche libre (73) dudit point mémoire à écrire.
15. Procédé pour écrire dans une mémoire magnétique selon l'une des revendications 13 et 14, *caractérisé* en ce que plusieurs points mémoire sont écrits simultanément.
16. Procédé pour écrire dans une mémoire magnétique se présentant sous la forme d'une matrice selon l'une des revendications 13 à 15, *caractérisé* en ce que l'on procède simultanément à l'écriture de l'ensemble des points mémoire d'une des deux états (directions) de la mémoire.

17. Procédé pour écrire dans une mémoire magnétique selon la revendication 16, *caractérisé* en ce que l'on procède à l'écriture de l'intégralité de la mémoire en deux opérations :
- une première opération dans laquelle on procède à l'écriture des points mémoire dans une direction donnée ;
  - une seconde opération dans laquelle on procède à l'écriture des points mémoire dans l'autre direction.
18. Procédé pour écrire dans une mémoire magnétique selon la revendication 13, *caractérisé* en ce que l'écriture sur chacun des points mémoire est obtenue par une impulsion de courant électrique convoyée par un seul conducteur.



2/6

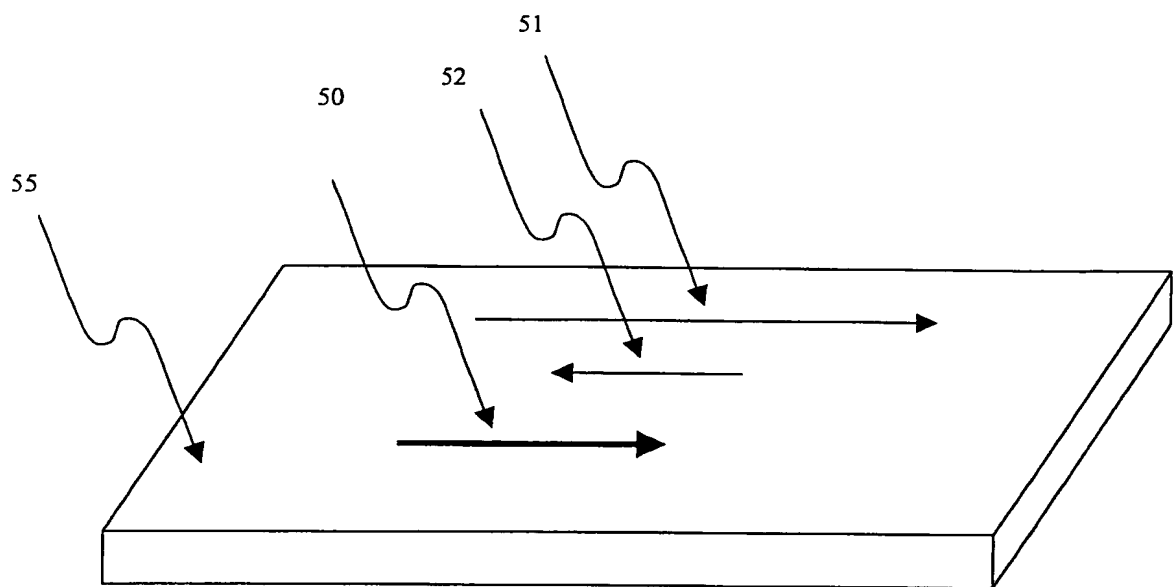


FIGURE 2a

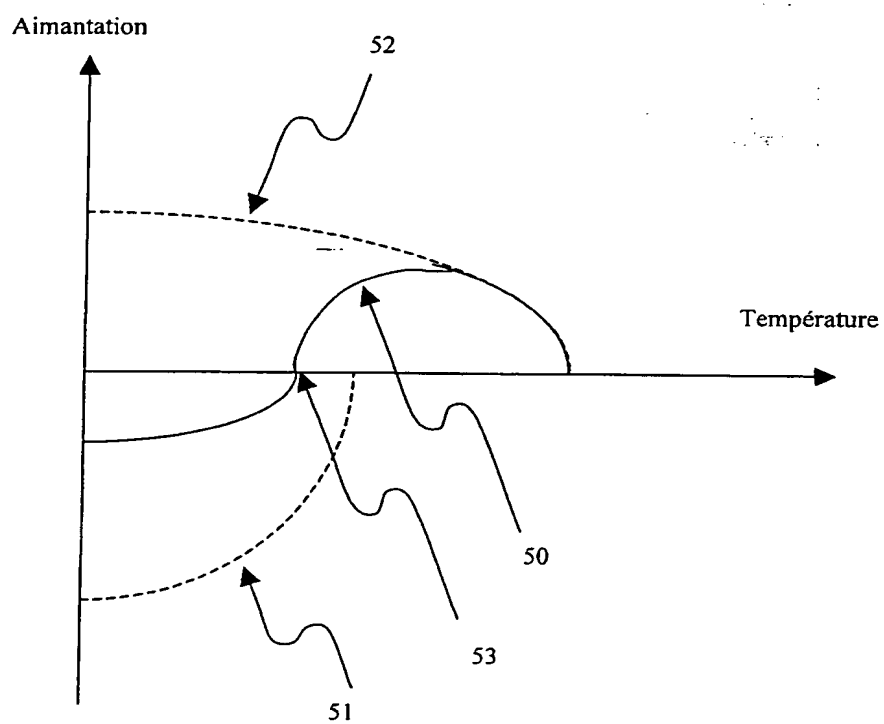


FIGURE 2b

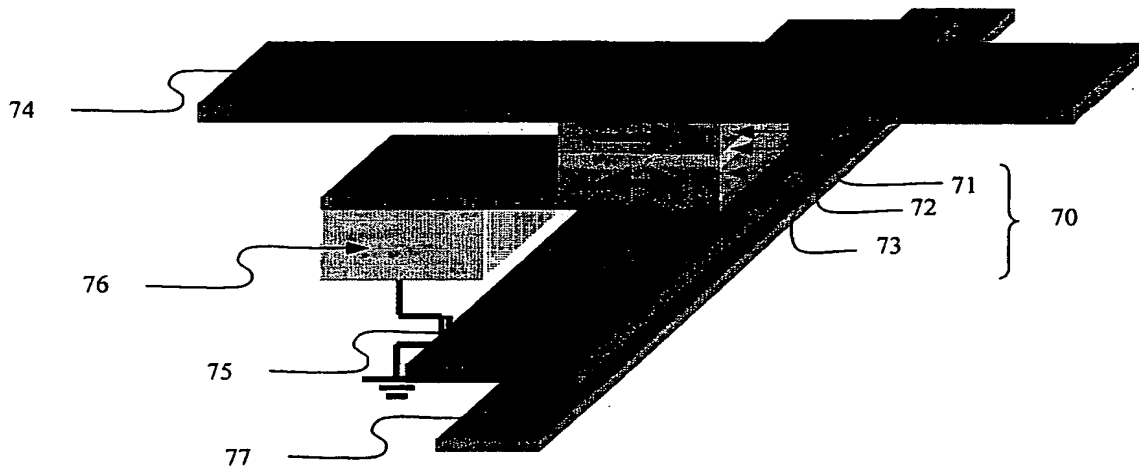


FIGURE 3

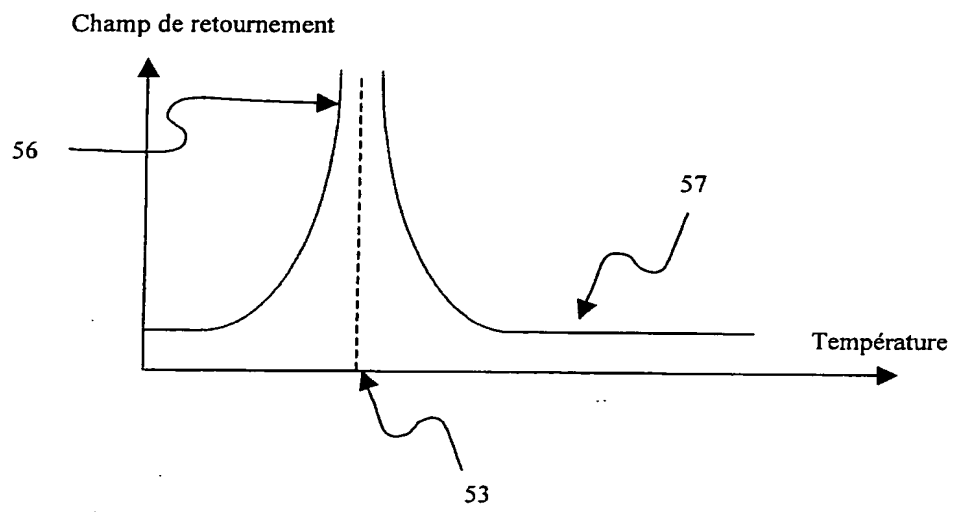


FIGURE 4

5/6

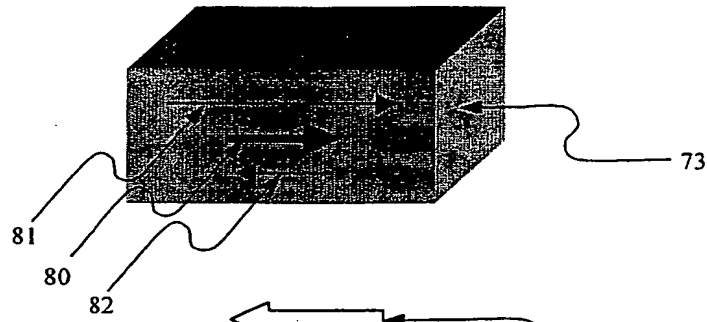


FIGURE 5a

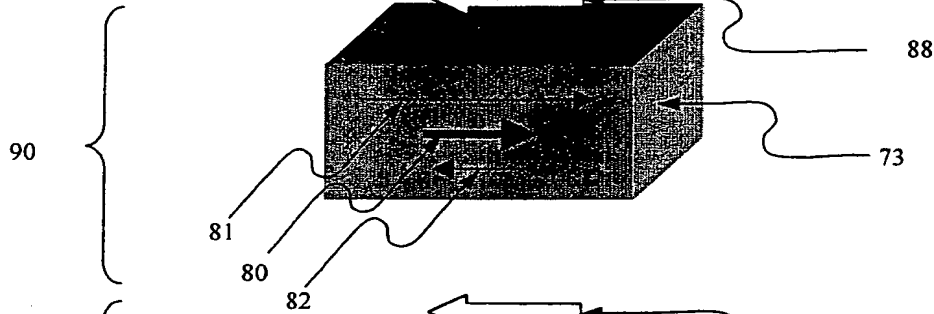


FIGURE 5b

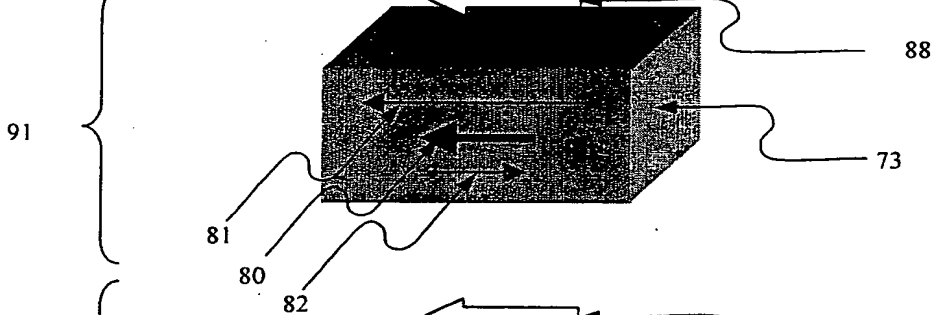


FIGURE 5c

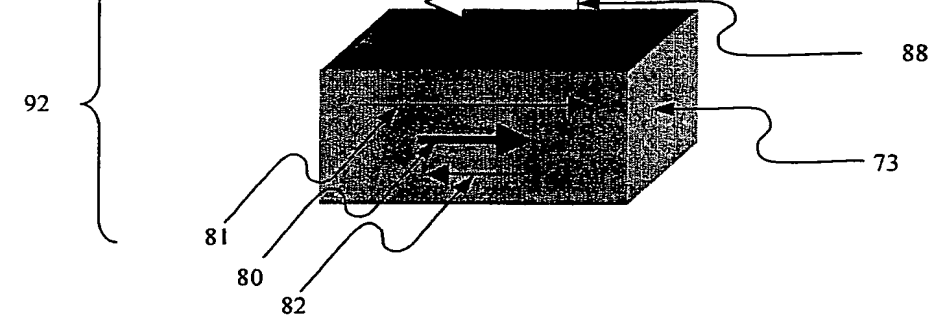


FIGURE 5d



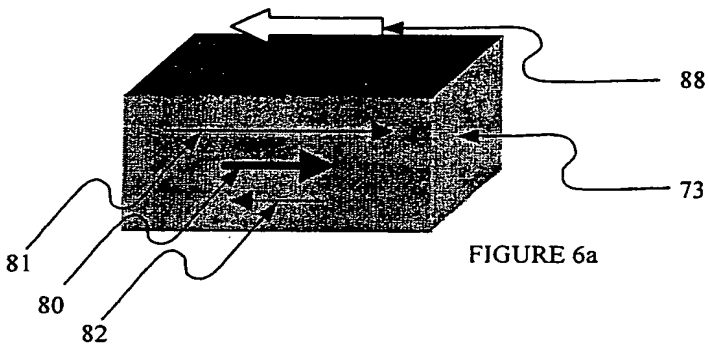
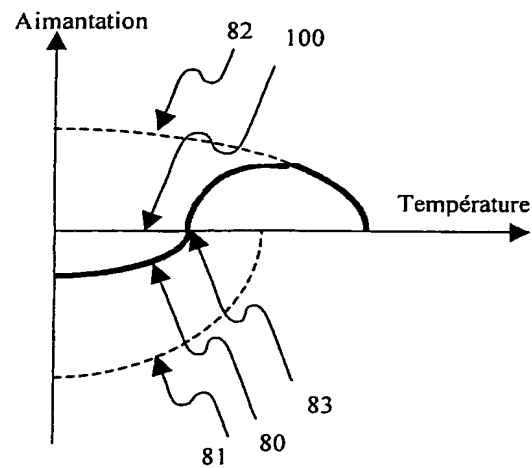


FIGURE 6a

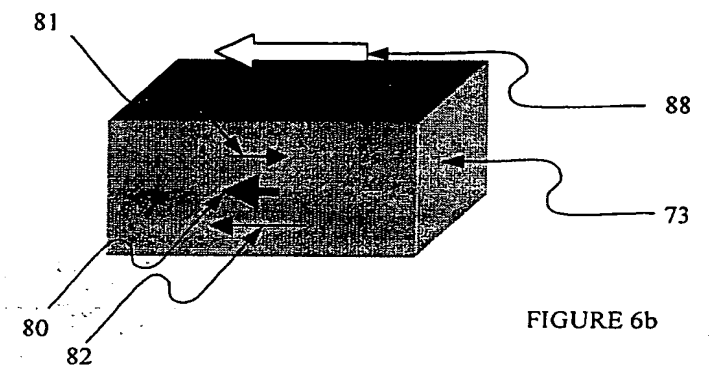
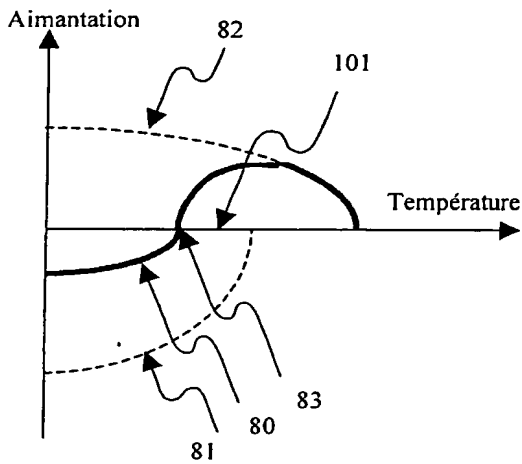


FIGURE 6b

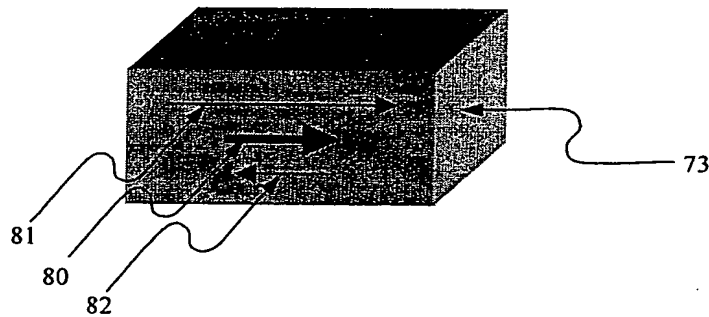
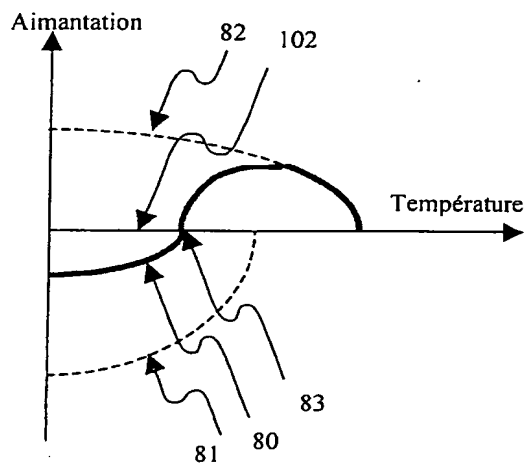


FIGURE 6c



2829867

N° d'enregistrement  
national

# RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE

établi sur la base des dernières revendications  
déposées avant le commencement de la recherche

FA 612748  
FR 0112123

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
E	US 6 385 082 B1 (TROUILLOUD PHILIP L ET AL) 7 mai 2002 (2002-05-07) * le document en entier *	1-12	G11C11/15 H01L43/10
A	US 2001/019461 A1 (ALLENSPACH ET AL) 6 septembre 2001 (2001-09-06) * le document en entier *	2, 3, 9-12	
A	US 4 771 347 A (HORIMAI HIDEYOSHI ET AL) 13 septembre 1988 (1988-09-13) * le document en entier *	1-8	
A	WO 00 79540 A (NONVOLATILE ELECTRONICS INC ; POHM ARTHUR V (US); DAUGHTON JAMES M) 28 décembre 2000 (2000-12-28) * le document en entier *	1, 9-12	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (Int.CL.7)
			G11C H01F
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
10 juillet 2002		Degraeve, L	
<p><b>CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS</b></p> <p>X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire</p> <p>T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons &amp; : membre de la même famille, document correspondant</p>			

2

EPO FORM 1503 12.99 (P04C14)

2829867

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE  
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 0112123 FA 612748**

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.  
Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du 10-07-2002  
Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 6385082	B1	07-05-2002	AUCUN	
US 2001019461	A1	06-09-2001	EP 1130578 A2	05-09-2001
			JP 2001273601 A	05-10-2001
US 4771347	A	13-09-1988	JP 1976160 C	17-10-1995
			JP 6095404 B	24-11-1994
			JP 62154347 A	09-07-1987
			AT 79686 T	15-09-1992
			AU 583968 B2	11-05-1989
			AU 6659386 A	02-07-1987
			CA 1310113 A1	10-11-1992
			DE 3686480 D1	24-09-1992
			DE 3686480 T2	04-03-1993
			EP 0227480 A2	01-07-1987
			KR 9510333 B1	14-09-1995
WO 0079540	A	28-12-2000	AU 6121100 A	09-01-2001
			EP 1196925 A1	17-04-2002
			WO 0079540 A1	28-12-2000

EPO FORM P0465

Pour tout renseignement concernant cette annexe : voir Journal Officiel de l'Office européen des brevets, No.12/82

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

☒ **BLACK BORDERS**

☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**

☒ **FADED TEXT OR DRAWING**

☒ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**

☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**

☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**

☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**

☒ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**

☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**

☐ **OTHER:** \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**